



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】ピストン、ディスプレーサ、これらの二者を囲むシリンダ及び前記ピストン、ディスプレーサにそれぞれ接続されたリニアモータを主要構成要素とする冷却機と、ダンパとを具備して成るフリーピストン形スターリング冷却機であって、前記ダンパを、前記冷却機にばね要素及び粘性減衰要素を介して可動部分が接続されたリニアモータを配設してなるアクティブダンパで構成して成るフリーピストン形スターリング冷却機。

【請求項2】請求項1記載のフリーピストン形スターリング冷却機において、上記ダンパに配設されたリニアモータを、コイル固定-永久磁石可動形リニアモータ、永久磁石固定-コイル可動形リニアモータもしくは可動鉄片形リニアモータの何れかで構成して成るフリーピストン形スターリング冷却機。

【請求項3】請求項1もしくは2記載のフリーピストン形スターリング冷却機において、上記ピストン及びディスプレーサにそれぞれ接続された2基のリニアモータ及び上記ダンパに配設されたリニアモータの可動部、もしくはピストンに接続されたリニアモータ及びダンパに配設されたリニアモータの可動部の可動方向が同一線上になるように配設されて成るフリーピストン形スターリング冷却機。

【請求項4】請求項1もしくは2記載のフリーピストン形スターリング冷却機において、前記冷却機のピストン及びディスプレーサにそれぞれ接続されたリニアモータの可動部の可動方向と同一方向の振動変位を検出する少なくとも一つの変位検出手段を具備して成るフリーピストン形スターリング冷却機。

【請求項5】請求項1もしくは2記載のフリーピストン形スターリング冷却機において、前記冷却機のピストン及びディスプレーサにそれぞれ接続されたリニアモータの可動部の可動方向と同一方向の振動加速度を検出する少なくとも一つの加速度検出手段を具備して成るフリーピストン形スターリング冷却機。

【請求項6】請求項1もしくは2記載のフリーピストン形スターリング冷却機において、上記ダンパに配設されたリニアモータの可動部質量を増減可能な構成にして成るフリーピストン形スターリング冷却機。

【請求項7】請求項4記載のフリーピストン形スターリング冷却機において、上記変位検出手段からの信号に基づいて上記ダンパに配設されたリニアモータに供給する電気入力のうち交番電流振幅もしくは電流位相を制御する手段を有して成るフリーピストン形スターリング冷却機。

【請求項8】請求項5記載のフリーピストン形スターリング冷却機において、上記加速度検出手段からの信号に基づいて上記ダンパに配設されたリニアモータに供給する電気入力のうち交番電流振幅もしくは電流位相を制御する手段を有して成るフリーピストン形スターリング冷

却機。

【請求項9】請求項7もしくは8記載のフリーピストン形スターリング冷却機において、上記変位検出手段もしくは加速度検出手段からの信号に基づいて上記ダンパに配設されたリニアモータを駆動するための入力電流の振幅及び位相を決める演算機能を有する制御器を具備して成るフリーピストン形スターリング冷却機。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

10 【産業上の利用分野】本発明は被冷却体を極低温に冷却するために用いられるフリーピストン形スターリング冷却機に関するものであり、特に、低振動が要求される被冷却体の冷却に好適な振動防止機構を備えたフリーピストン形スターリング冷却機に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来のフリーピストン形スターリング冷却機の振動防止機構として、いわゆるダイナミックダンパを用いることは良く知られている。このダイナミックダンパについては、レフリジレーション・フォー・クライオジェニックス・センサーズ・アンド・エレクトロニック・システムズ(1981年)第103頁から第115頁(Refrigeration for Cryogenics Sensors and Electronic Systems)において論じられている。本機構は、冷却機にばねを介して質量が取り付けられている、振動学で論じられているところのダイナミックダンパであり、冷却機の運転条件が、ピストン及びディスプレーサの運動が変化しない定常の状態においてのみ、質量及びこれを支持するばねの定数を適值に選定することにより、効果的な振動防止機構となる。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、以上のような従来のダイナミックダンパでは、冷却機とダンパで構成される振動系の特性に合致した運転条件での振動防止は期待できるが、ピストンやディスプレーサの動きが一様でない状態で生じる非定常振動を防止することはできなかった。すなわち、ダイナミックダンパは、後で詳述するが、振動を防止できる振動周波数域は非常に狭く、ピストン等、可動体の周波数が変動する運転条件では効果的な振動防止は期待できない。

40 【0004】フリーピストン形スターリング冷却機の振動系は、衆知の通り、ピストン部分についてはピストンと圧縮・膨張空間で構成されるガスばね(非線形ばね)が支配的である。一方、ディスプレーサ部分については蓄冷器を通過する際のガスの圧力損失がばね系や粘性減衰系に影響を及ぼす。

【0005】以上のように、冷却機全体の振動系は封入ガス圧力や各部分の質量等、初期設定仕様のみならず、可動部の振動振幅や圧縮空間、膨張空間の温度等によっても影響を受ける。すなわち、スターリングサイクル周期のなかでも振動系が変化すると言っても過言ではない。

い。

【0006】本発明の目的は上記問題点に鑑み、運転中の外的あるいは内的変化に伴う振動系の非定常的変動が生じた場合においても、本変動に追従し、精度の高い振動防止が行えるような機構を備えたフリーピストン形スターリング冷却機を提供することにある。

#### 【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的は、付設するダイナミックダンパの振動系を冷却機の運転条件に見合った最適な系に逐次変えていく機能を有する構成とすることにより達成される。すなわち、本発明の特徴とするところは、ダイナミックダンパの振動系を構成する質量及びばね要素のうち、冷却機の振動状態に合わせてばね要素の特性を能動的に変えようとするものであり、従来のダイナミックダンパに代えてアクティブダンパとしたところにある。

【0008】ばねの特性を変える手段としてはいくつかある。例えば、ピストンとシリンドルで構成されるガスばねのように、封入圧力を適宜変えてやればばね定数を変化させることは可能である。しかしながら先にも示した通り、ガスばねは非線形ばねであり、また、圧力の増減には、ピストンの運動に対し無視できない時間遅れが生じるため、きめ細かな制御は期待できない。そのため電気的にはばね系を変える方法が望ましい。

【0009】したがって、本発明では、ダイナミックダンパにリニアモータを適用する。リニアモータを適用した場合の作用については次項で示すものとし、ここでは先ず、その構成について説明する。すなわち、本発明で適用されるコイル固定一永久磁石可動形、永久磁石固定一コイル可動形リニアモータ、もしくは可動鉄片形リニアモータは電流により推力が得られる構造であり、可動部がばねで支えられた状態でコイルに交番電流を通電すると質量一ばね系に強制力が作用する一次元強制振動系が形成されることになる。コイルに通電されない場合はダイナミックダンパであり、ダイナミックダンパとして動作している時に、質量の変位方向と同じ方向の推力を作用させれば、あたかもばね定数が低くなったように、また、逆方向の推力を作用させればばね定数が高くなつたように動作する。したがって、ダイナミックダンパとしてリニアモータを適用すれば入力電流を制御することにより冷却機の振動を抑えるに最適なダンパ振動系を構成することが可能となる。

【0010】ここで本発明の具体的な目的達成手段について例示すると以下の通りである。上記本発明の目的は、ピストン、ディスプレーサ、これらの二者を囲むシリンドル及び前記ピストン、ディスプレーサにそれぞ接続されたリニアモータを主要構成要素とする冷却機と、ダンパとを具備して成るフリーピストン形スターリング冷却機であつて、前記ダンパを、前記冷却機にばね要素及び粘性減衰要素を介して可動部分が接続されたリニアモ

ータを配設してなるアクティブダンパで構成して成るフリーピストン形スターリング冷却機により、達成される。

【0011】上記ダンパに配設されたリニアモータは、コイル固定一永久磁石可動形リニアモータ、永久磁石固定一コイル可動形リニアモータもしくは可動鉄片形リニアモータの何れでもよい。そして好ましくは、上記ピストン及びディスプレーサにそれぞれ接続された2基のリニアモータ及び上記ダンパに配設されたリニアモータの可動部、もしくはピストンに接続されたリニアモータ及びダンパに配設されたリニアモータの可動部の可動方向が同一線上になるように配設することである。また、前記冷却機には、ピストン及びディスプレーサにそれぞれ接続されたリニアモータの可動部の可動方向と同一方向の振動変位を検出する少なくとも一つの変位検出手段を設けることが望ましい。この変位検出手段の代わりに加速度検出手段を設けることもできる。また、上記ダンパに配設されたリニアモータの可動部質量を増減可能な構成にすることもできる。

【0012】さらにまた、上記変位検出手段、もしくは加速度検出手段からの信号に基づいて上記ダンパに配設されたリニアモータに供給する電気入力のうち交番電流振幅もしくは電流位相を制御する手段を設けることができる。また、上記変位検出手段もしくは加速度検出手段からの信号に基づいて、上記ダンパに配設されたリニアモータを駆動するための入力電流の振幅及び位相を決める演算機能を有する制御器を設けることが望ましい。

#### 【0013】

【作用】本発明のダンパに設けられるコイル固定一永久磁石可動形、永久磁石固定一コイル可動形リニアモータ、もしくは可動鉄片形リニアモータ（以下、リニアモータと称す）は、永久磁石により形成される磁界の中に置かれたコイルに通電することによりフレミング則で示されるところの推力がコイルに作用する。永久磁石が可動するタイプでは、反力として永久磁石が動くことになる。

【0014】いま、コイルに通電していない状態で、ダイナミックダンパとしてリニアモータの可動部が冷却機の駆動周波数と同一周波数で振動している場合を考える。すなわち、この時は冷却機本体を加振する力がダンパ可動部を加振する力に変換され、冷却機の振動低減効果として現れる。外的もしくは内的条件の変化によりダイナミックダンパとしての最適条件がずれ、冷却機本体の振動として現れた場合、ダンパ質量を支えるばねの特性を本条件での最適値に調整すれば再び冷却機本体の振動を低減させることが可能となる。

【0015】ダンパを構成するばねの特性を、リニアモータのコイルに通電する電流により調整する。最適条件が高ダンパ固有振動数側にある場合、すなわち、支持するばねのばね定数を大きくする場合はダンパ可動部の変

位とは逆方向に推力を作用させれば良い。一方、低域側にある場合、すなわち、ばね定数を小さくする場合は可動部変位と同方向に推力を作用させれば良いことになる。なお、ダンパ質量の変位が時間に対して正弦波状であり、また、支持ばね特性が線形であれば、当然、ばね力は正弦波状であるから、推力も正弦波状の特性とする。すなわち、正弦波状の電流をコイルに作用させれば良い。また、電流と推力の位相差を把握しておけば、変位と推力が同位相もしくは逆位相になるように供給電流の位相を設定することによりばね定数の調整が可能となる。

## 【0016】

【実施例】以下、本発明の一実施例を図面により説明する。

【実施例1】図1はダンパ40にコイル固定-永久磁石可動形リニアモータ11を配設した装置の全体構成を示す断面である。同図に示すように、ピストン2、ディスプレーサ1、これら二者を囲むシリンドラ8及びピストン2、ディスプレーサ1に各々接続されたリニアモータ4、5を主要構成要素とするフリーピストン形スターリング冷却機30に、ばね要素10に支持された負荷質量9及びこれを可動部として振動させるコイル固定-永久磁石可動形リニアモータ11を主要構成要素とするアクティブダンパ40が付設されている。

【0017】電気接点16、17より交流電流を加えリニアモータ4及び5を駆動させることで、作動流体を圧縮空間7、蓄冷器3、膨張空間6の間を移動させ、スターリングサイクルを構成し膨張空間6で冷却効果を得る。この際にリニアモータ4及び5の駆動により発生する振動を低減させるため、シリンドラ8に取付けられた変位検出手段14により振動の変位を検出し、さらにダンパ40の負荷質量9の変位を変位検出手段20により検出し、演算、制御装置15において、ダンパのコイル固定-永久磁石可動形リニアモータ11を制御する。

【0018】以下、図2に示した制御フロー図にしたがって制御の一例を説明する。制御はまず、ダンパ40のコイル固定-永久磁石可動形リニアモータ11に加える電流等の初期値を設定する(ステップ100)。A<sub>0</sub>は、シリンドラ8の振動の振幅値、Bはダンパ40に印加する電流の振幅値である。システム運用中は、変位検出手段14の入力を基に振動の振幅Aを求め(ステップ300)振幅Aが許容値A<sub>0</sub>より大きいかどうかを判断する(ステップ400)。小さい場合は、各設定値を変更せずその状態を保持し(ステップ410)、大きい場合は、振幅Aが時間に対して増加しているか減少しているかを直前の振幅値A<sub>0</sub>と比較することで判断する(ステップ500)。振幅Aが増加している場合は、その直前にダンパ40のコイル固定-永久磁石可動形リニアモータ11への供給電流の振幅値Bを大きくしたのか、小さくしたのかを判別し(ステップ510)大きくした場合は、供給電流の振幅

値BをB<sub>0</sub>として記憶した後Bの値を一定値αだけ減する(ステップ511)。小さくしていた場合は、供給電流の振幅値BをB<sub>0</sub>として記憶した後、Bの値に一定値αを加える(ステップ512)。

【0019】一方、振幅Aが時間に対して減少している場合、または変化しない場合は、その直前にダンパ40のコイル固定-永久磁石可動形リニアモータ11への供給電流の振幅値Bを大きくしたのか、小さくしたのかを判別し(ステップ520)、大きくした場合は、供給電流の振幅値BをB<sub>0</sub>として記憶した後Bの値に一定値αを加える(ステップ521)。小さくしていた場合は、供給電流の振幅値BをB<sub>0</sub>として記憶した後、Bの値を一定値αだけ減する(ステップ522)。このようにダンパ40の供給電流の振幅Bを設定した後に、変位検出手段14より得られた振動の振幅AをA<sub>0</sub>として記憶させる(ステップ700)。最後に、変位検出手段20より、ダンパの負荷質量9の振動波形を検出し(ステップ800)これをもとに、ダンパ40のリニアモータ11に電流を供給する(ステップ900)。

【0020】なお、変位検出手段14より入力した変位の振動が正弦波であれば、ダンパの変位も正弦波となり、この変位に比例した電流をダンパ40のコイル固定-永久磁石可動形リニアモータ11に加えることでダンパのばね定数を変化させることができ、これにより、シリンドラ8の振動の周波数にダンパの共振点を一致させることができ、全体の振動を低減することができる。

【0021】また、変位検出手段14で得られたシリンドラ8の振動と変位検出手段20で得られるダンパ40の負荷質量9の振動の位相差をあらかじめ調べておけば、変位検出手段20のかわりに変位検出手段14を用い同様の効果が得られる。

【0022】(実施例2)図3はダンパ40のリニアモータに可動鉄片形リニアモータ13を用いた場合であり、磁性体18でできたケーシング12の中央部に非磁性体19を配置し、両端に設置されたリニアモータ13のコイルに交互に電流を印加することで、ばね要素10に支持された負荷質量9が振動する。この構成においても実施例1と同様に振動の低減を図ることができる。

【0023】(実施例3)また、実施例1の図1に示したダンパ40のコイル固定-永久磁石可動形リニアモータ11の代わりに永久磁石固定-コイル可動形リニアモータを用いても同様の効果が得られる。また、変位検出手段14の代わりに速度検出手段、もしくは加速度検出手段を用いても同様の効果が得られる。さらにまた、変位検出手段20の代わりに速度検出手段、もしくは加速度検出手段を用いても同様の効果が得られる。

【0024】(実施例4)上記実施例は、冷却機膨張部31と冷却機圧縮部32とを一体構造としたインテグラル型に適用した例であるが、冷却機膨張部31と冷却機圧縮部32とを分離して両者を配管で接続する構成のス

プリット型においても、冷却機膨張部31と冷却機圧縮部32とに個別に上記例に示すアクティブダンパ40を接続することで、同様の効果を得ることができる。

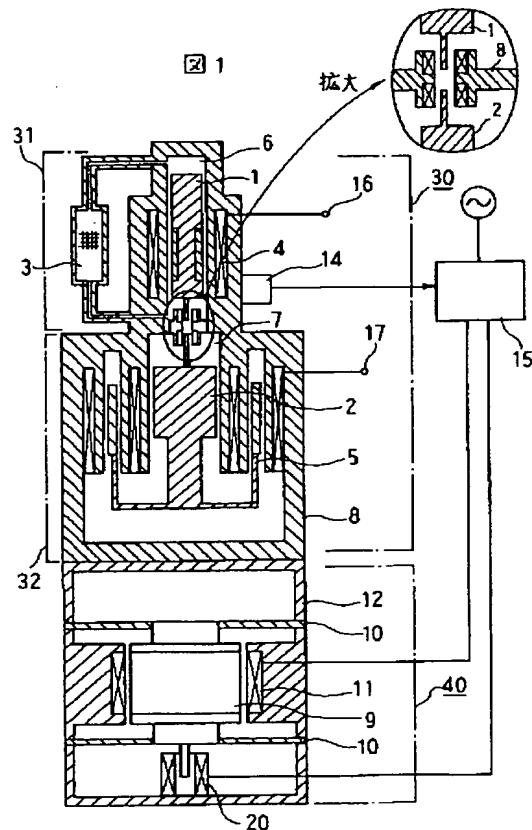
## 【0025】

【発明の効果】本発明によれば、フリーピストン形スターリング冷却機の振動防止構造としてリニアモータを適用したダイナミックダンパを用いることにより、冷却機が一定状態で駆動している時はもとより、内的あるいは外的要因により振動状態が変化した場合においても、リニアモータの推力を支持ばねのばね力に対し重ね合わせることにより、ダンパ系のばね定数を最適値に調整することが出来るから、常に低振動状態で冷却機を作動させることが出来る。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例のフリーピストン形スターリング冷却機の全体構成を示す断面構造図。

【図1】



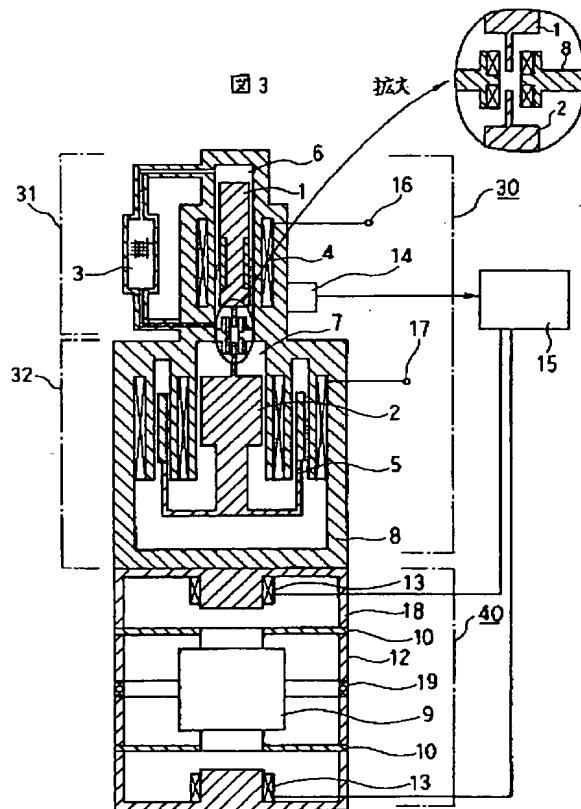
【図2】ダンパ40の制御フロー図。

【図3】本発明の他の一実施例となるフリーピストン形スターリング冷却機の全体構成を示す断面構造図。

## 【符号の説明】

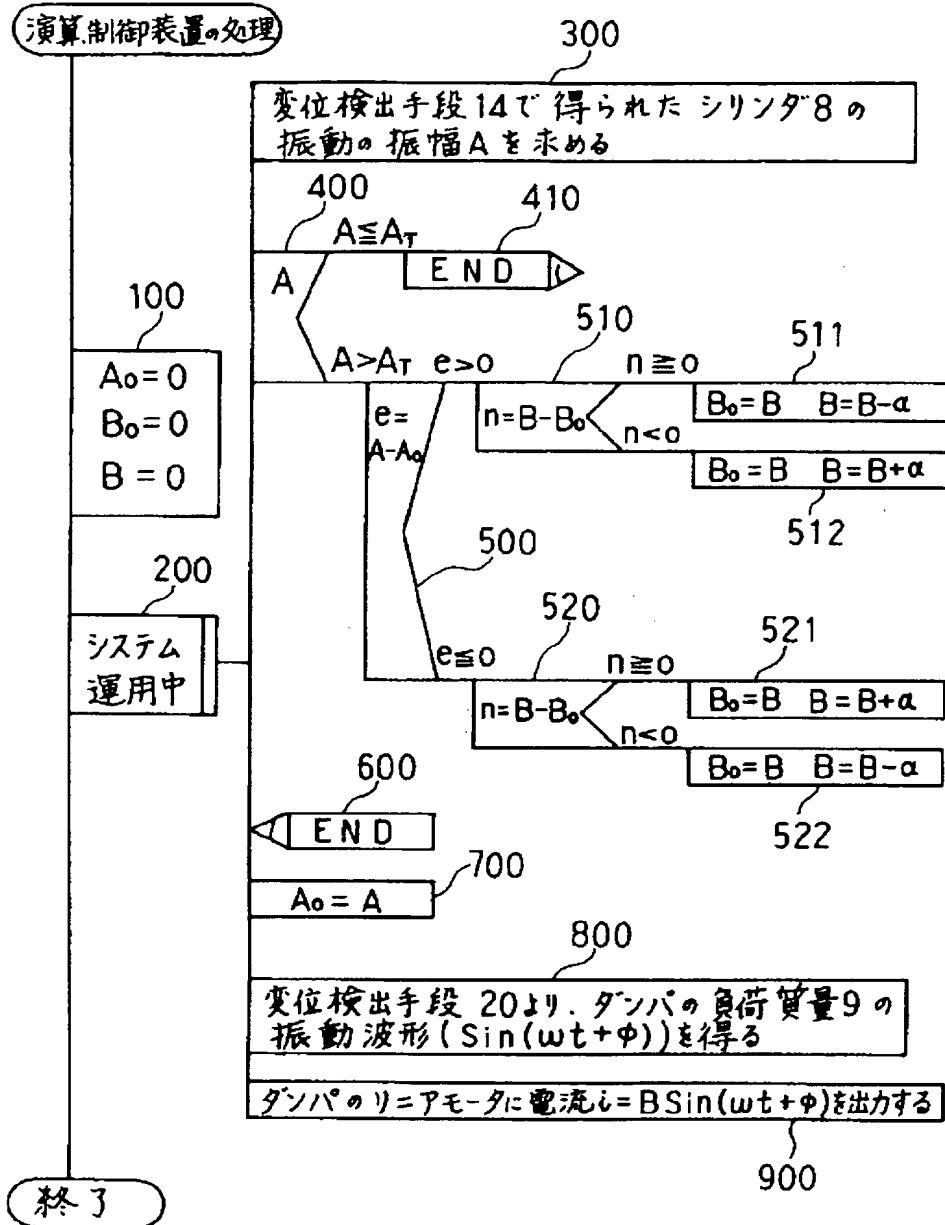
1…ディスプレーサー、 ン、3…蓄冷器、 4及び5…リニ アモータ、6…膨張空間、 7…圧縮空間、8…シリンダ、 9…負荷質量、10…ばね要素、11…コイル固定一永 10…久磁石可動形リニアモータ、12…ケーシング、 14…変位検出手段、15…演算・制御装 置、16及び17…電気接点、13…可動鉄片形 リニアモータ、18…磁性体、19…非磁性体、 20…変位検出手段、30…冷却 機、31…冷却機膨張部、32 …冷却機圧縮部、40…ダンパ。
---

【図3】



【図2】

図2



フロントページの続き

(72)発明者 松下 正

茨城県つくば市千現二丁目1番地の1宇宙  
開発事業団筑波宇宙センター内

(72)発明者 古川 正夫

茨城県つくば市千現二丁目1番地の1宇宙  
開発事業団筑波宇宙センター内